

(51) Int.Cl.⁶

G 0 2 B 5/18

識別記号

庁内整理番号

9018-2K

F I

技術表示箇所

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 6 頁)

(21) 出願番号 特願平5-259640

(22) 出願日 平成5年(1993)10月18日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 植野 照弘

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

(72) 発明者 小川 久仁

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器
産業株式会社内

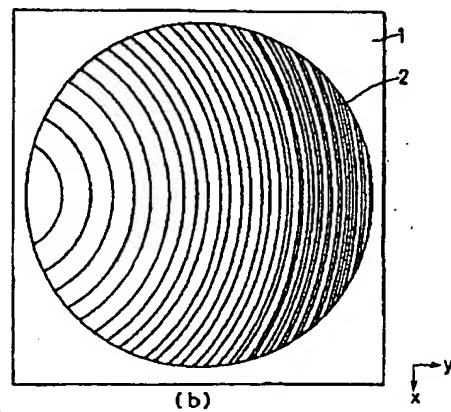
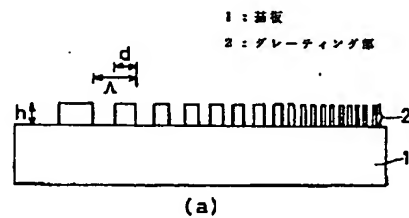
(74) 代理人 弁理士 池内 寛幸 (外1名)

(54) 【発明の名称】 回折光学素子

(57) 【要約】

【目的】 断面が矩形のグレーティングを有する回折光学素子において、グレーティング周期の小さい領域でも斜め入射光に対する回折効率の低下を防止する。

【構成】 基板1上に形成された矩形断面を有するグレーティング部2のグレーティング周期に応じて、デューティ比(1つの周期における空気層以外の領域の割合)を最適な値となるように変化させる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板と、前記基板上に形成されたグレーティング部を具備する回折光学素子であって、前記グレーティング部の断面は矩形形状であり、前記グレーティング部の周期に応じて前記グレーティング部の矩形断面のデューティ比（1つの周期における空気層以外の領域の割合）が異なることを特徴とする回折光学素子。

【請求項2】 グレーティング部の周期が入射波長の3～4倍より小さい領域において、前記グレーティング部の矩形断面のデューティ比を0.5より小さくすることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項3】 グレーティング部の矩形断面のデューティ比は、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて徐々に小さくなることを特徴とする請求項2記載の回折光学素子。

【請求項4】 グレーティング部の溝の深さが、前記グレーティング部の周期に応じて異なることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項5】 グレーティング部の周期が入射波長の3～4倍より小さい領域において、前記グレーティング部の溝の深さが徐々に小さくなることを特徴とする請求項4記載の回折光学素子。

【請求項6】 グレーティング部のパターンは中心対称で、かつ一方方向に凸の曲線であり、前記凸の方向にグレーティング周期が徐々に小さくなることを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【請求項7】 グレーティング部のパターンは直線であり、徐々にグレーティング周期が変化することを特徴とする請求項1記載の回折光学素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、回折光学素子、特に斜め入射光に対してグレーティング周期の小さい領域でも回折効率が良い回折光学素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 回折光学素子は光の回折現象を利用する光学素子であり、複数のグレーティングパターン（回折格子）により構成されている。一般に、回折光学素子では回折効率がどの位達成できるかは非常に重要な要素である。従来の回折光学素子として、図9に示す垂直入射用の回折形のマイクロレンズが知られている（J. Jahns and S. J. Walker : "Two-dimensional array of diffractive microlenses fabricated by thin film deposition", Applied Optics Vol. 29, No. 7, pp. 931-936 (1990).）。図9において、(a)は平面図であり、

(b)はその側部断面図である。図9から明らかなように、この従来の回折光学素子は垂直入射光を集光又はコリメートするためのものであり、基板1上に同心円のグレーティングパターン7が設けられている。グレーティングパターン7は、外周に行くにつれてグレーティング

周期が小さくなるように構成されている。各グレーティングパターンの断面は矩形形状であり、1つの周期における空気層以外の領域の比であるデューティ比は0.5で設計されている。その理由は、グレーティングパターンの断面が矩形の場合のデューティ比が0.5のとき、回折効率が最も大きい（41%）ことが知られているためである。

【0003】

【発明が解決しようとする課題】 上記回折効率及び矩形断面を有するグレーティングパターンのデューティ比の関係を考慮すると、回折光学素子のグレーティングパターンが矩形断面の場合、デューティ比が0.5のとき回折効率が最も高くなるであろうことは容易に推定される。実際、入射光が垂直方向から傾いた斜入射光になった場合、グレーティング周期の大きい領域においては、推定通り矩形断面のデューティ比がほぼ0.5のときに回折効率は最も高かった。しかし、グレーティングパターンの矩形断面のデューティ比が0.5である従来の回折光学素子では、グレーティング周期が入射光の波長に近い領域では、回折効率が低下するという問題点があることを本発明者らは見いだした。本発明は、上記問題点を解決するためになされたものであり、斜め入射光に対してグレーティング周期の小さい領域でも回折効率がよい、矩形断面のグレーティングを有する回折光学素子を提供することを目的としている。

【0004】

【課題を解決するための手段】 上記目的を達成するために、本発明の回折光学素子は、基板と、前記基板上に形成されたグレーティング部を具備するものであって、前記グレーティング部の断面は矩形形状であり、前記グレーティング部の周期に応じて前記グレーティング部の矩形断面のデューティ比（1つの周期における空気層以外の領域の割合）が異なるように構成されている。上記構成において、グレーティング部の周期が入射波長の3～4倍より小さい領域において、前記グレーティング部の矩形断面のデューティ比を0.5より小さくすることが好ましい。また、グレーティング部の矩形断面のデューティ比は、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて徐々に小さくなることが好ましい。また、グレーティング部の溝の深さが、前記グレーティング部の周期に応じて異なることが好ましい。また、グレーティング部の周期が入射波長の3～4倍より小さい領域において、前記グレーティング部の溝の深さが徐々に小さくなることが好ましい。また、グレーティング部のパターンは中心対称で、かつ一方方向に凸の曲線であり、前記凸の方向にグレーティング周期が徐々に小さくなることが好ましい。また、グレーティング部のパターンは直線であり、徐々にグレーティング周期が変化することが好ましい。

【0005】

【作用】 矩形断面を有するグレーティングに対して入射

光が垂直方向から傾斜して入射する場合、グレーティング部の周期に応じて回折効率が高くなる最適なデューティ比が存在する。そのため、各グレーティング部の周期に応じてそのグレーティング部の矩形断面のデューティ比（1つの周期における空気層以外の領域の割合）を最適な値となるように設定することにより、回折光学素子全域にわたって回折効率が高くなる。

【0006】

【実施例】本発明の回折光学素子の第1の実施例を図1から図5までを用いて詳細に説明する。図1において、

(a)は本発明の回折光学素子の第1の実施例の基本構成を示す断面図であり、(b)はその平面図である。図2は第1の実施例において、入射光の入射角 $\theta = 20^\circ$ の場合の規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。図3は第1の実施例において、入射光の入射角 $\theta = 30^\circ$ の場合の規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。図4は第1の実施例における規格化グレーティング周期とデューティ比との関係を示す図である。図5は第1の実施例における集光の様子を示す図である。図1に示すように、第1の実施例に係る回折光学素子は、基板1及び基板1の上に形成されたグレーティング部2を具備する。グレーティング部2は、断面が矩形形状であり、(a)に示す d/Λ で表わされるデューティ比がその周期に応じて異なるように構成されている。ここで、 Λ はグレーティング周期であり、 d はその周期における空気層以外の領域のサイズである。後に詳述するが、グレーティング部2のグレーティング周期が大きい領域では、デューティ比はほぼ0.5であるが、グレーティング周期が小さくなるにつれてデューティ比が小さくなるように設定されている。また、溝の深さ h はグレーティング周期にかかわらず一定である。第1の実施例の回折光学素子は、例えば口径1mm（円形開口）、入射光の波長 $\lambda = 0.6328\mu\text{m}$ 、入射角 $\theta = 20^\circ$ 、グレーティング部2は周期が例えば $0.633\mu\text{m}$ から $6.3\mu\text{m}$ で最大溝の深さは例えば $h = 0.63\mu\text{m}$ である。

【0007】入射光が垂直方向から傾いた斜入射光である場合、グレーティング部2のグレーティング周期が大きい領域では、矩形形状のデューティ比がほぼ0.5のときに回折効率は最も高かった。しかし、本発明者らはグレーティング周期が入射光の波長に近づく領域ではデューティ比が小さいほうが回折効率が大きくなる傾向にあることを発見した。その詳細を以下に述べる。入射光の入射角が $\theta = 20^\circ$ 、グレーティング部2の屈折率が $n = 1.5$ の場合について、回折効率と規格化グレーティング周期 Λ/λ （ λ :波長）との関係を図2に示す。図2において実線で示したように、デューティ比が0.5の場合、グレーティング周期が大きい領域で回折効率が約40%示すが、グレーティング周期が小さくなり波

長の3倍程度になると回折効率が低下する。一方、デューティ比が0.4及び0.3の場合、それぞれ、一点鎖線、点線で示すようにグレーティング周期が大きい領域で回折効率はデューティ比が0.5の場合より小さいが、グレーティング周期が小さくなるとデューティ比が0.5の場合より回折効率が向上することがわかる。同様に、入射角が $\theta = 30^\circ$ である場合における回折効率と規格化グレーティング周期 Λ/λ （ λ :波長）との関係を図3に示す。やはり、各グレーティング周期に関して、回折効率が高くなるデューティ比が存在することがわかる。従って、グレーティング部2のグレーティング周期に応じて、回折効率を高くするデューティ比にする構造にすれば、回折光学素子全域にわたって回折効率が高くなることがわかる。

【0008】第1の実施例では、例えば図4に示すようにデューティ比を設定した。すなわち、グレーティング周期が大きい領域では、デューティ比を0.45～0.5とし、デューティ比をほぼ0.5とした。一方、グレーティング周期が小さくなる領域では、図4に示される曲線に従ってデューティ比を変化させた。デューティ比の最適変化曲線は種々の条件により異なるが、グレーティング部の周期が入射波長の3～4倍より小さい領域においてデューティ比を0.5より小さくすればよい。一般的傾向として、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて、デューティ比を徐々に小さくすれば回折効率が向上するといえる。

【0009】図5に示すように、上記第1の実施例の回折光学素子は、斜め入射光5を垂直に出射させる（出射光6）透過形のオフアキシスレンズである。オフアキシスレンズとは、入射光の光軸と出射光の光軸が異なるレンズのことである。図5において、光5が伝播する領域の基板1の表面と裏面には反射層4A及び4Bが堆積されており、基板1内を光が繰返し反射されジグザグに伝播し、グレーティング部2から垂直出射される。斜入射光5を垂直集光光にするために、グレーティング部2のパターン形状は、図1の(b)に示すように中心対称で、かつ一方に凸の曲線であり、上記凸の方向にグレーティング周期が徐々に小さくなり、同時にパターンの曲率も大きくなるような形状に構成されている。さらに詳述すると、図1及び図5に示す座標系において、入射光の波長を λ 、基板1の屈折率を n 、入射角を θ とすると、第1の実施例の回折光学素子の位相シフト関数は、 $\Phi(x, y) = k((x^2 + y^2 + f^2)^{1/2} + n y \sin \theta - f) - 2m\pi$ で表される。ただし、 $k = \lambda/2\pi$ 、 m は $0 \leq \Phi \leq 2\pi$ を満たす整数であり、グレーティングパターンの次数を表わしている。この位相シフト関数から、次数 m のグレーティング部2の曲線形状は、中心が $(0, -n \sin \theta (m\lambda + f) / (1 - n^2 \sin^2 \theta))$ であり、短軸（ x 軸）の長さ $d_x = 2(m^2 \lambda^2 + 2m\lambda f + n^2 f^2 \sin^2 \theta)^{1/2} / (1 - n^2 \sin^2 \theta)$

$^2 \theta)^{1/2}$ 、長軸 (y 軸) の長さ $d_y = d_x / (1 - n^2 \sin^2 \theta)^{1/2}$ である楕円曲線の上部である。

【0010】基板1及びグレーティング部2は使用波長に対して透明であればよく、例えばガラスや合成樹脂等の材料で形成されている。使用光が赤外光の場合、基板1及びグレーティング部2の材料として、SiやGaAs等の半導体を使用することも可能である。上記第1の実施例の回折光学素子の製造方法として、電子ビーム描画法を用いた。すなわち、例えばPMMAやCMS等の電子ビームレジスト等の電子ビームに感光する合成樹脂を基板1上にコーティングし、合成樹脂コーティング層に電子ビームを照射し、現像処理をすることによって回折光学素子を形成した。なお、回折光学素子の仕様として、上記以外にも目的に応じて任意のものが作製可能である。

【0011】大量生産を行う場合、例えばニッケル電鍍法で金型を作製し、例えば紫外線 (UV) 硬化樹脂を用いて金型から複製することにより、原盤と同一のレンズ素子を低価格で作製することが可能である。特に、回折光学素子がアレイ状に配列されている場合、この方法を用いることにより、同一特性の回折光学素子を同時に精度よく形成できる。また、例えばイオンビームエッチングにより、合成樹脂 (電子ビームレジスト) で形成したグレーティング部2の形状を、例えばガラス基板1に転写することにより、温度的にも非常に安定する。

【0012】次に、本発明の回折光学素子の第2の実施例の基本構成を図6に示す。図6は第2の実施例の回折光学素子の平面図である。なお、上記第1の実施例と同一の部分についてはその説明を省略し、異なる部分について説明する。図6に示すように、第2の実施例の回折光学素子は、グレーティング部2'のパターンは直線であり、徐々にグレーティング周期が変化しているシリンドリカルオフアキシスレンズである。すなわち、第2の実施例の回折光学素子は、斜め入射光を一軸方向 (y 方向) のみ集光する。なお、断面は図1の (a) に示した構成と実質的に同じである。従って、このような一軸方向のシリンドリカルレンズでも、矩形断面のデューティ比を変化させることにより回折効率が向上し、第1の実施例の回折光学素子と同様の効果を奏する。

【0013】次に、本発明の回折光学素子の第3の実施例を図7及び図8を用いて説明する。図7は第3の実施例に係る回折光学素子の基本構成を示す断面図である。図8は第3の実施例の回折光学素子における規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図である。なお、上記第1の実施例と同一の部分についてはその説明を省略し、異なる部分について説明する。図7に示すように、第3の実施例に係る回折光学素子は、グレーティング部2''の周期に応じて、デューティ比だけでなく、その溝の深さも変化した構造を有している。図8に示すように、規格化グレーティング周期が

3以上の領域ではグレーティング部2の溝の深さを一定とし、規格化グレーティング周期が3以下の領域ではグレーティング部2''の溝の深さを回折効率の値がほぼ一定になるように変化させた。種々の条件により、溝の深さの変化曲線は異なるが、グレーティング部2''の周期が入射波長の3~4倍より小さい領域において溝の深さを変化させればよい。一般的傾向として、グレーティング部の周期が小さくなるにつれて、溝の深さを徐々に小さくすればよいといえる。第3の実施例では、このようにグレーティング部2''の周期に応じてデューティ比と溝の深さを変化させ、グレーティング周期の小さい領域でも回折効率の低下を防ぐように構成したので、グレーティング部2''の全領域にわたり回折効率の値をほぼ一定にすることができ、回折光学素子の集光スポットの光分布が均一になるという効果を奏する。

【0014】なお、上記各実施例では、本発明を斜入射光を垂直に集光するオフアキシスレンズに適用した場合について説明したが、オフアキシス形レンズだけでなく他の形式の回折光学素子に適用した場合であっても、入射光が斜め方向の場合に同様の効果を奏する。

【0015】

【発明の効果】以上のように本発明によれば、回折光学素子の各グレーティング部の周期に応じてそのグレーティング部の矩形断面のデューティ比を最適な値となるように設定するように構成したので、特に斜め入射光に対してグレーティング周期の小さい領域でも回折効率がよい断面が矩形形状の回折光学素子が実現可能である。また、グレーティング部の周期に応じてデューティ比と溝の深さを変化させることにより、グレーティング部の全領域にわたり回折効率の値をほぼ一定にすることができる。回折光学素子の集光スポットの光分布を均一にすることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 (a) は本発明の回折光学素子の第1実施例の基本構成を示す断面図、(b) はその平面図

【図2】 第1の実施例における入射光の入射角 $\theta = 20^\circ$ の場合の規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

【図3】 第1の実施例における入射光の入射角 $\theta = 30^\circ$ の場合の規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

【図4】 第1の実施例における規格化グレーティング周期とデューティ比との関係を示す図

【図5】 第1の実施例における集光の様子を示す図

【図6】 本発明の回折光学素子の第2の実施例の基本構成を示す平面図

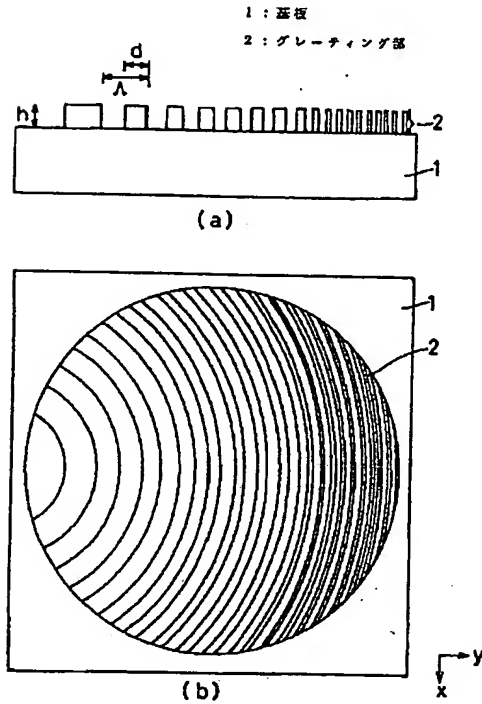
【図7】 本発明の回折光学素子の第3の実施例の基本構成を示す断面図

【図8】 第3の実施例における規格化グレーティング周期と1次回折光の回折効率との関係を示す図

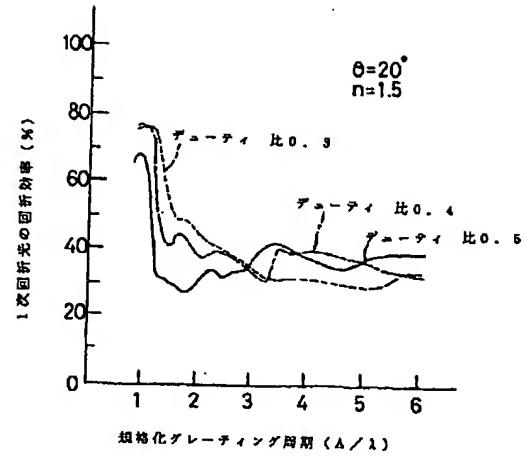
【図9】 (a) は従来の回折光学素子の構成を示す平面図、(b) はその断面図
 【符号の説明】

- 1 : 基板
 2 : グレーティング部

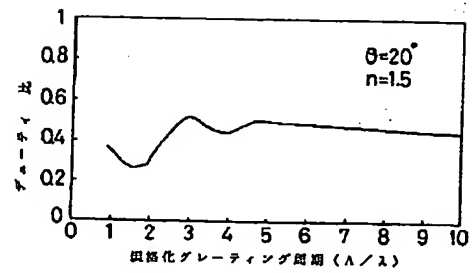
【図1】



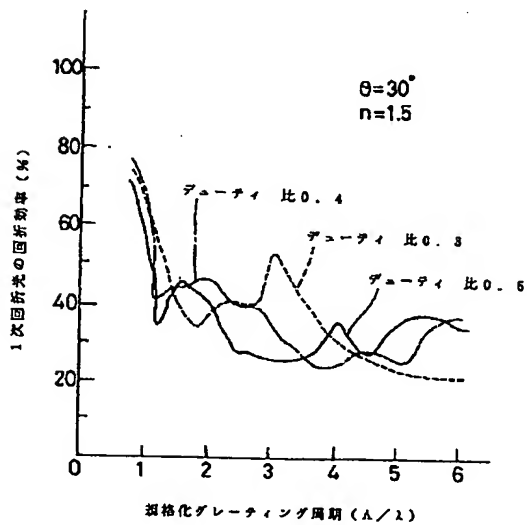
【図2】



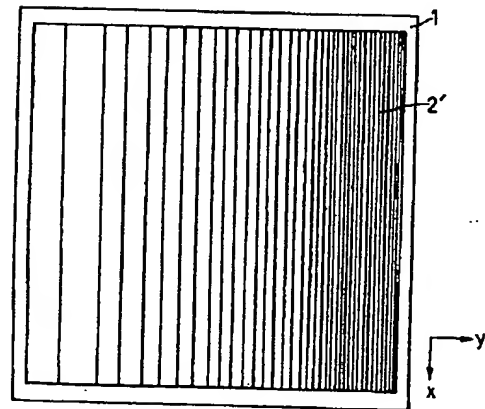
【図4】



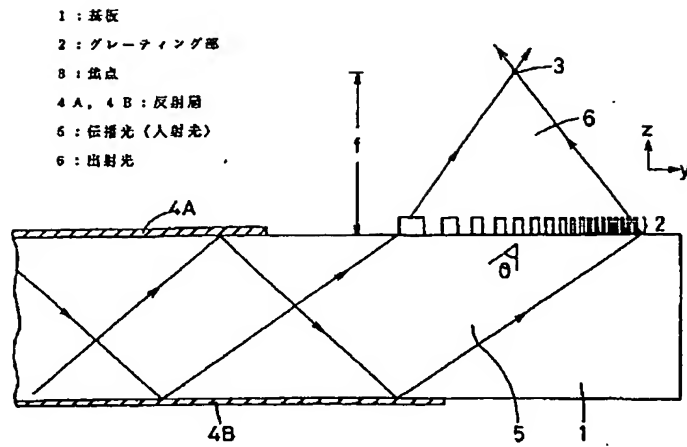
【図3】



【図6】



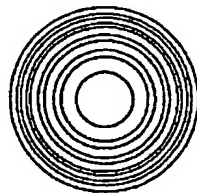
【図5】



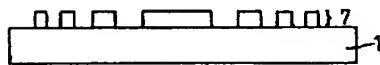
【図7】



【図9】



(a)



(b)

【図8】

